

OCENA
osiągnięcia naukowego pt.:
„Współpraca biogazowni rolniczych z systemem elektroenergetycznym”
oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i popularyzatorskiego
Pana dr inż. Zbigniewa Skibko

1. Ocena osiągnięcia naukowego

1.1. Ocena osiągnięcia naukowego pod względem formalnym

Opiniowane osiągnięcie naukowe zostało opublikowane w formie monografii naukowej przez Instytut Technologiczno-Przyrodniczy – Państwowy Instytut Badawczy w 2022 roku. Monografia liczy 214 stron tekstu, w tym: spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, bibliografia oraz załączniki w formie aneksu.

Monografia składa się z ośmiu rozdziałów, następujących po sobie według logicznego porządku. Układ pracy jest spójny i przejrzysty. Formalnie monografia napisana jest w sposób właściwy, co jest szczególnie ważne w odniesieniu do sformułowanego problemu naukowego. Cel i zakres pracy zawarte są w rozdziale 3, natomiast opis metodyki podjętych badań – w rozdziale 4.

Opisane przez Autora, kolejne etapy prowadzonych badań nie budzą większych zastrzeżeń. Przytaczane formuły są poprawne a opracowana, choć dość krótka metodyka badań, oraz sposób interpretacji uzyskanych wyników w większości wyczerpują zagadnienie, którego analizy podjął się Autor. Uważam, że na uwagę zasługuje duży zakres prowadzonych badań, w których wybrane obiekty (biogazownie) dobrze odzwierciedlają warunki eksploatacyjne zdefiniowane przez Autora w problemie badawczym.

W zakończeniu rozprawy Autor odpowiada na dwa pytania sformułowane jako problem badawczy oraz formułuje trzy logiczne, choć moim zdaniem nieco za długie wnioski, wynikające z analiz teoretycznych oraz przeprowadzonych badań.

Wykaz materiałów źródłowych (Bibliografia) zawiera ponad 170 pozycji polsko- i obcojęzycznych, w tym źródła internetowe. W części tej znajduje się także aż 11 autorskich lub współautorskich pozycji Kandydata, co świadczy o Jego ukierunkowanej problematyce badawczej.

1.2. Ocena celowości podjęcia tematu

Przedstawione do recenzji osiągnięcie naukowe jest oryginalnym opracowaniem Autora dotyczącym współpracy biogazowni rolniczych z systemem elektroenergetycznym.

W przeglądzie piśmiennictwa Autor umiejętnie analizuje problem związany z wprowadzaniem do sieci elektroenergetycznej coraz większej ilości energii pochodzącej z OZE. Brak konkretnych wytycznych w tym zakresie, w kontekście wszystkich źródeł OZE, a nie tylko samych biogazowni, skutkuje dużą „dowolnością” w doborze urządzeń i technologii przyłączeniowych, co prowadzi do wielu zakłóceń w liniach elektroenergetycznych, szczególnie w okresach nadprodukcji tzw. zielonej energii. Z drugiej zaś strony, Autor słusznie wykazuje potrzebę dynamicznego rozwoju technologii biogazowych, które spełniają rolę nie tylko potencjalnych źródeł OZE, ale przede wszystkim systemów pozwalających na znaczne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, w tym metanu, którego sektor rolniczy jest chyba największym „producentem”. Na podstawie tych przesłanek Autor analizuje literaturę krajową i zagraniczną, skupiając się przy tym na zagadnieniach oddziaływania biogazowni na parametry sieci elektroenergetycznej. Wyniki poszukiwań Autora potwierdzają znikomą liczbę artykułów w tym zakresie, gdyż większość tego typu prac dotyczy energetyki wiatrowej lub słonecznej, jako źródeł OZE charakteryzujących się dużą niestabilnością produkcji w czasie, zależnie od warunków atmosferycznych w danym regionie.

Zdaniem Autora istotna też jest lokalizacja samych biogazowni rolniczych, które z racji logistyki dostaw substratów do produkcji biogazu mogą być posadowione jedynie na terenach wiejskich, a najlepiej w takich miejscach, w których pobliżu znajdują się potencjalni odbiorcy energii elektrycznej, np. zakłady przetwórstwa rolno-spożywczego.

Na uwagę zasługuje fakt, że przegląd piśmiennictwa wykonany przez Autora, precyzyjnie wpisuje się w obszar dyscypliny naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*, łącząc ze sobą zagadnienia techniczne – związane zarówno z technologią wytwarzania i przesyłu energii elektrycznej, jak i przyrodnicze – związane z procesem fermentacji metanowej i funkcjonowaniem samej biogazowni.

Recenzowane osiągnięcie naukowe jest próbą odpowiedzi na pytania:

- 1) Czy biogazownia rolnicza generująca energię elektryczną z biogazu może wpływać na poprawę bilansu energetycznego współpracującej z nią siecią elektroenergetyczną?
- 2) Czy wygenerowana w biogazowni rolniczej energia elektryczna wpływa na poprawę jakości energii w sieci średniego napięcia?

Głównym celem badań Autora było określenie wpływu energii elektrycznej generowanej przez biogazownię rolniczą na parametry charakteryzujące współpracującą z nią sieć elektroenergetyczną średniego napięcia. Do zrealizowania tego celu konieczne było określenie stosownego zakresu badań, który obejmował:

1. Wykonanie symulacji komputerowych elektroenergetycznej sieci średniego napięcia, umożliwiających określenie korelacji pomiędzy miejscem przyłączenia biogazowni a parametrami sieci. Badania symulacyjne obejmowały następujące analizy: wpływu miejsca przyłączenia biogazowni na straty mocy i energii występujące w sieci średniego napięcia, wpływu biogazowni rolniczej na ograniczenie emisji CO₂ do atmosfery, wpływu współczynnika mocy generowanej w biogazowni na napięcie w punkcie przyłączenia, wpływu współczynnika mocy generowanej w biogazowni na straty mocy i energii występujące w sieci elektroenergetycznej.
1. Wykonanie badań terenowych mających na celu wykazanie wpływu wytwarzanej energii elektrycznej w biogazowni rolniczej na jakość tej energii przesyłanej siecią średniego napięcia. Badania te obejmowały analizy następujących parametrów, opisujących jakość energii: napięcie w sieci oraz jego stabilność, zmiany częstotliwości napięcia, asymetrię napięcia, odkształcenie napięcia zasilającego w wyniku generowania prądu odkształconego od przebiegu sinusoidalnego, zjawisko migotania światła.

Zagadnienia związane z wytwarzaniem i wykorzystaniem energii z OZE stanowią aktualny i jakże ważny temat badań wielu ośrodków naukowych, szczególnie w sytuacji transformacji energetycznej oraz niestabilnego rynku energii nie tylko w naszym kraju. Jednym z ważniejszych problemów jest kompatybilność różnych źródeł OZE z połączonym systemem elektroenergetycznym, którego przepustowość w wielu regionach pozostawia jeszcze wiele do życzenia. Ponadto charakterystyki pracy niektórych systemów OZE (głównie energetyka wiatrowa i słoneczna), związane z okresowymi wahaniami w profilu produkcji energii, są przyczyną przebiegów, niekontrolowanych wyłączeń i przede wszystkim strat energii.

Dlatego też uważam, że przedstawione osiągnięcie naukowe, zawierające elementy badań zarówno podstawowych jak i aplikacyjnych, jest jak najbardziej adekwatne do oceny w kategorii osiągnięcia będącego podstawą ubiegania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego. Rozpatrywany problem naukowy jest jak najbardziej aktualny, celowy i mieści się w ramach dyscypliny naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*.

1.3. Ocena merytoryczna osiągnięcia naukowego

Zdefiniowany problem badawczy oraz cel badań Autora są bardzo podobne. Pozwolę sobie na stwierdzenie, że po analizie metodyki ocenianego osiągnięcia naukowego, zdefiniowany cel pracy mógłby brzmieć w następujący sposób: *Wpływ miejsca przyłączenia biogazowni rolniczej do sieci elektroenergetycznej (albo współczynnika mocy) na jej wybrane parametry*. Uważam, że Autor mógł nieco szerzej i dokładniej opisać metodykę badań, której objętość wynosi zaledwie czternaście stron, w tym tabele z parametrami sieci, niezwiązane bezpośrednio z tym rozdziałem.

Schemat badań w sposób czytelny przedstawiony został na rys. 3.1. Nie jest to jednak typowy model badań, sprawdzony i stosowany w metodologii badań z wyszczególnionymi grupami czynników: badanych, wynikowych, stałych oraz zakłócających (np. *Polański Z. 1984. Planowanie doświadczeń w technice. WNT, Warszawa*). Tak zdefiniowany model badań ułatwiłby Autorowi wytypowanie właściwych grup czynników i wykonanie stosownych analiz. Brak dokładnie opisanego modelu teoretycznego obniża niestety jakość ocenianego osiągnięcia i utrudnia interpretację uzyskanych wyników.

Autor słusznie uznał, że wygenerowana w biogazowni rolniczej energia elektryczna, podczas wprowadzania do sieci elektroenergetycznej średniego napięcia, wpływa na parametry tej sieci i jest przyczyną (choć nie zawsze) szeregu zakłóceń obniżających jakość dostępnej energii. Już samo zdefiniowanie pojęcia „jakość energii” pozwoliło Autorowi na określenie konkretnych, mierzalnych parametrów fizycznych, np.: napięcie w sieci i jego stabilność, częstotliwość napięcia, asymetria napięcia, odkształcenie napięcia od sinusoidy.

Badania Autora słusznie zostały podzielone na dwa etapy: badania symulacyjne oraz badania terenowe. Symulacja pracy biogazowni pozwoliła Autorowi na uzyskanie takich stanów pracy układu, które byłyby niemożliwe lub bardzo trudne do osiągnięcia w warunkach eksploatacyjnych (głównie ze względu na złożoność i zmienność w czasie zjawisk zachodzących w pracujących układach elektroenergetycznych). Natomiast zaletą wykonanych badań terenowych była możliwość weryfikacji wyników otrzymanych podczas symulacji. Tak „zmyslnie” dobrana metodyka jest przykładem rzetelnego warsztatu Autora, który jak widać nie jest dyletantem w zakresie zagadnień energetycznych.

Analiza symulacyjna obejmowała trzy warianty przyłączeń biogazowni do sieci oraz wariant zerowy – bez przyłączenia biogazowni, co potwierdza moje wcześniejsze przypuszczenie, że czynnikiem badanym w niniejszej pracy jest miejsce przyłącza biogazowni do sieci realizowane w czterech wariantach. Badania terenowe, prowadzone przez Autora w trzech biogazow-

niach rolniczych województwa podlaskiego, również obejmowały trzy warianty przyłączeń do sieci SN, tj.: blisko GPZ, w środku sieci oraz w 2/3 odległości od GPZ.

Analizę symulacyjną Autor prowadził w środowisku programu komputerowego NEPLAN 5.42, który jest światowym standardem wśród systemów do kompleksowej analizy pracy złożonych systemów elektroenergetycznych. Natomiast w badaniach terenowych wykorzystywał przenośny analizator jakości zasilania SONEL PQM-701.

Wyniki badań symulacyjnych przedstawione w rozdziale piątym w postaci wykresów nie w pełni pozwalają na ich właściwą interpretację. Na wszystkich wykresach zmienną niezależną jest współczynnik mocy, co nie jest do końca zgodne z założeniami przyjętymi na s. 47 ocenianej pracy (*...wpływu miejsca przyłączenia biogazowni na straty mocy i energii..., ...wpływu biogazowni rolniczej na ograniczenie emisji CO₂...*). W tym momencie wykresy stają się trudne do interpretacji, ponieważ bez dogłębnej analizy nie wiadomo, czy miejsce „wpięcia” biogazowni do sieci wykazuje wpływ na czynniki wynikowe (jakość energii). Zgodnie z metodyką planowania i realizacji eksperymentu wyjaśnieniem byłby właściwy wykres poparty narzędziem statystycznym w postaci analizy wariancji jedno- lub dwuczynnikowej.

Zastanawia mnie także, dlaczego Autor ograniczył interpretację emisji CO₂ związanej tylko ze stratami mocy i energii, pomijając fazę produkcji biogazu (wykresy 5.41. – 5.47.), skoro w metodyce badań jest mowa wyraźnie o dwóch etapach takiej analizy (*...Analizę wpływu pracy biogazowni rolniczej na ilość emitowanego do atmosfery ditlenku węgla można podzielić na dwa etapy. W pierwszym z nich określono ilość emisji CO₂ w fazie powstawania biogazu. W drugim – ilość ditlenku węgla powstającego przy wytwarzaniu energii elektrycznej oraz jego redukcję wynikającą z ograniczenia strat mocy i energii w sieci elektroenergetycznej...*). Ponadto, powiązanie emisji CO₂ tylko ze współczynnikiem mocy może prowadzić do skrajnie mylnych wniosków (przykładowo: z rysunku 5.42. wynika, że przy współczynniku mocy 0,8 dla biogazowni przyłączonej do węzła 14 roczna emisja CO₂ jest równa zero, co jest oczywiście nieprawdziwe).

Większość wyników badań uzyskanych w terenie odnosi się do przebiegów czasowych, co jest zresztą logiczne „z punktu widzenia” działania przyrządu pomiarowego i rejestracji wybranych parametrów. Autor bardzo skrupulatnie analizuje uzyskane dane pomiarowe wspomagając się odpowiednio dobranym narzędziem statystycznym. Niestety, ze względu na odmienność wykresów uzyskanych w badaniach terenowych Autorowi nie udało się spełnić postulatu zawartego w metodyce badań (*...Dodatkowym atutem takich badań jest możliwość potwierdzenia (lub nie) wyników otrzymanych podczas analiz symulacyjnych...*), ponieważ nie można porównać ze sobą dwóch wykresów o różnych zmiennych.

W ocenianej pracy wyraźnie brakuje dyskusji wyników. Rozumiem, że liczba publikacji w tym zakresie jest znikoma, jednak brak odniesienia do rezultatów podobnych badań innych autorów znacznie ogranicza rangę ocenianego osiągnięcia naukowego.

Bardzo istotną (choć ponownie zbyt krótką, bo tylko 6-cio stronicową) częścią pracy Autora jest rozdział siódmy. To w nim Autor dokonuje podsumowania własnych badań i próbuje interpretować uzyskane rezultaty. Autora stwierdza, że *...elektrownie biogazowe są bardzo stabilnymi – z punktu widzenia zmienności mocy wytwarzanej – źródłami energii elektrycznej...* Z drugiej zaś strony pisze, że *...generatory w biogazowniach rolniczych nie pracują mocą znamionową. Może to być przyczyną niewystarczającej ilości biogazu (gwarantującej znamionową generację przez długi okres czasu) lub występującej w sieci wysokiej wartości napięcia zasilającego (badania wykazały, że napięcie w punktach przyłączenia biogazowni przyjmowało wartości zbliżone do maksymalnych wartości dopuszczalnych)....* Pozwolę sobie zwrócić uwagę na fakt, że praca z mocą znamionową jakiegokolwiek urządzenia energetycznego związana jest (oprócz zapewnienia wystarczającej ilości paliwa) z zapewnieniem możliwości „odbioru” tej mocy. Rzeczywiście wzrost napięcia w sieci elektroenergetycznej może skutkować zmniejszeniem zapotrzebowania na moc, jednak zdecydowanie odrzuciłbym argument o niewystarczającej ilości biogazu, ponieważ świadczyłoby to o nieprawidłowo dobranych założeniach już na etapie projektu biogazowni. Ponadto biogazownie wyposażone są zazwyczaj w więcej niż jeden układ kogeneracyjny, częściowo dla potrzeb przeglądów serwisowych, a zatem nawet przy niedoborach biogazu można, poprzez zatrzymanie jednego silnika, stopniowo ograniczyć moc biogazowni bez utraty jej sprawności na etapie kogeneracji energii elektrycznej i ciepła.

Konkludując rozważania teoretyczne oraz uzyskane rezultaty Autor w rozdziale siódmym potwierdza m.in. ścisłą korelację pomiędzy pracą biogazowni rolniczych a wartościami napięć i strat mocy oraz energii występującymi w sieci. W celu ich optymalizacji słusznie sugeruje zastosowanie jednego układu automatyki, regulującego moc wytwarzaną w elektrowni biogazowej, w zależności od wartości napięcia występującego w sieci, gdzie generacja powinna odbywać się ze współczynnikiem mocy $\cos \varphi$ o charakterze pojemnościowym, w przedziale od 0,9 do 1.

Rozdział ósmy ocenianej pracy stanowią wnioski, które według Autora są odpowiedzią na pytania postawione w problemie badawczym. Z punktu widzenia merytoryki problemu rzeczywiście tak jest, jednak w mojej opinii forma opisu tych wniosków jest stanowczo za długa i mało konkretna. Autor w niektórych wnioskach przedstawia, zupełnie niepotrzebnie, treści powszechnie znane, ogólnodostępne, nie wynikające bezpośrednio z badań Autora, np.: *...Biogazownie rolnicze obecnie przyłączane są do sieci, zgodnie z obowiązującymi aktualnie*

przepisami, ze współczynnikiem mocy $\cos \varphi$ o stałej wartości bliskiej jedności (średnio 0,99 o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym)..., lub ...Biogazownie rolnicze zaliczane są przez krajowe przepisy do odnawialnych źródeł energii (OZE), które jednak emitują dwutlenek węgla do atmosfery..., a także ...Biogazownie rolnicze należą do tzw. źródeł rozproszonych, wytwarzając energię elektryczną i ciepłą w pobliżu potencjalnych odbiorców. Wpływają więc na dywersyfikację źródeł energii, a przez to na poprawę bezpieczeństwa energetycznego kraju...

Na zakończenie oceny merytorycznej pragnę zwrócić uwagę na fakt, że problematyka naukowa, której analizy podjął się Autor uświadamia czytelnikowi, jak wielowątkowa staje się z pozoru prosta współpraca urządzenia energetycznego z odbiornikiem (siecią elektroenergetyczną). We współczesnych instalacjach biogazowni rolniczych, przy ciągłym monitorowaniu wskaźników pracy za pomocą systemów diagnostyki wnioski z badań Autora wydają się być cenną informacją, której wykorzystanie pozwoli na poprawę sprawności takich instalacji.

Przedstawione przeze mnie drobne uwagi zarówno w części formalnej, jak i merytorycznej nie naruszają w zasadniczy sposób koncepcji tej pracy. W części mają one charakter dyskusyjny, częściowo wynikają ze skrótów myślowych, nie podważają przy tym wiarygodności ani wartości naukowej pracy.

1.4. Opinia końcowa o osiągnięciu naukowym

Pan dr inż. Zbigniew Skibko zrealizował postawiony cel – określił wpływ biogazowni rolniczej na współpracujący z nią system elektroenergetyczny. Opracował szereg zależności funkcyjnych, których dotychczas nie znano w praktyce eksploatacyjnej. Określił obszar przewidzianych do realizacji zadań i rozwiązał je zgodnie z przyjętą metodologią badań. I choć osiągnięty przez Autora rezultat nie jest doskonały, to jego zastosowanie w praktyce pozwala na odzwierciedlenie zmian zachodzących w systemie „*biogazownia rolnicza – sieć elektroenergetyczna*”.

Opiniowane osiągnięcie naukowe stanowi zatem samodzielny wkład Pana dr inż. Zbigniewa Skibko w rozwój dyscypliny naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka* i może być przedmiotem rozprawy habilitacyjnej.

2. Ocena dorobku naukowego

Kandydat w swoim dorobku naukowym posiada łącznie 95 prac stanowiących 1 766 punktów wg MNiSW (MEiN). Według Bazy Politechniki Białostockiej sumaryczny Impact Factor wynosi 21,146. Liczba wszystkich cytowań według Web of Science wynosi 26, według Scopus 44, a według Google Scholar 115 przy wskaźniku h-index wynoszącym odpowiednio: 2, 4 oraz 4.

Dorobek naukowy Kandydata świadczy o Jego wiedzy przede wszystkim w zakresie dyscypliny naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*. Wieloautorskie publikacje Kandydata potwierdzają również Jego umiejętność pracy w zespole, co w przypadku rozwiązywania złożonych problemów badawczych z obszaru energetyki ma istotne znaczenie.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Kandydat uczestniczy w zespole badawczym realizującym projekt regionalny o wartości ponad jednego miliona złotych. Jest to bardzo cenne doświadczenie pozwalające na łączenie wiedzy Kandydata z praktyką, która w obszarze nauk techniczno-przyrodniczych odgrywa bardzo istotną rolę.

Warto podkreślić dużą aktywność Kandydata w zakresie członkostwa w: organizacjach i towarzystwach naukowych, komitetach i radach naukowych czasopism czy też zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, nagród i konkursów.

Merytoryczna analiza dorobku naukowego Kandydata wskazuje, że skupia się On głównie na zagadnieniach związanych z:

- oddziaływaniem biogazowni rolniczych na środowisko wiejskie,
- współpracą urządzeń OZE z siecią elektroenergetyczną,

co wskazuje na właściwy kierunek Kandydata w osiągnięciu zamierzonego celu.

Wzajemne korelacje pomiędzy analizowanymi podsystemami energetycznymi Kandydat weryfikuje szeregiem przeprowadzonych w tym zakresie badań, symulacji i testów eksploatacyjnych.

Większość przedstawionych wniosków w publikacjach Kandydata poparta jest właściwie dobranym narzędziem matematycznym a metodyki badań, podobnie jak w ocenianej monografii, są opisane prawidłowo, co zapewnia mnie o rzetelności „warsztatu” badawczego Autora.

3. Ocena dorobku dydaktycznego

Kandydat posiada znaczny dorobek dydaktyczny. W okresie pracy zawodowej na Politechnice Białostockiej czynnie uczestniczył w procesie dydaktyczno-wychowawczym Uczelni biorąc udział w wielu komisjach do spraw udoskonalania programów kształcenia. Kandydat może się także pochwalić opracowaniem wielu własnych – autorskich programów nauczania (w tym praktycznych) tematycznie związanych z zagadnieniami energetyki oraz elektrotechniki.

Jako promotor (158) oraz recenzent (85) prac dyplomowych Kandydat udowadnia swoje umiejętności dydaktyczne oraz organizacyjne. Organizacja szeregu wycieczek dydaktycznych, koordynacja modernizacji stanowisk laboratoryjnych dla studentów czy też liczne prelekcje i szkolenia z zakresu elektrotechniki, to tylko niektóre przykłady ponadprzeciętnej aktywności Kandydata występującego w roli nauczyciela akademickiego.

Uhonorowaniem działalności dydaktycznej Kandydata jest aż osiem prestiżowych nagród dydaktycznych oraz medali przyznanych m.in. przez Rektora Politechniki Białostockiej.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę całokształt dorobku Pana dra inż. Zbigniewa Skibko, a w szczególności przedstawioną do oceny monografię pt.: „*Współpraca biogazowni rolniczych z systemem elektroenergetycznym*” oraz dorobek naukowy, dydaktyczny i popularyzatorski w okresie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora stwierdzam, że Kandydat spełnia wymagania stawiane w art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r., poz. 742). Dorobek ten stanowi istotny wkład w rozwój reprezentowanej przez Kandydata dyscypliny naukowej, jest oryginalny i charakteryzuje się wartościami poznawczymi i utylitarnymi.

Na podstawie powyższych stwierdzeń składam wniosek o dopuszczenie Pana dra inż. Zbigniewa Skibko do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

